

56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:
DT-AS 12 26 194
DT-AS 14 38 264
DT-OS 15 63 094
US 33 75 383

54) Bezeichnung: Elektrische Maschine
61) Zusatz zu: P 24 17 818.5
71) Anmelder: TELDIX GmbH, 6900 Heidelberg
72) Erfinder: Ruff, Gerd, 6900 Heidelberg

30) Unionspriorität: 32 33 31

11) Offenlegungsschrift 25 11 567
21) Aktenzeichen: P 25 11 567.7
22) Anmeldetag: 17. 3. 75
43) Offenlegungstag: 30. 9. 76



Int. Cl. 2:

H02 K 3/00

DT 25 11 567 A 1

2511567

TEL D I X G m b H

6900 Heidelberg 1
Grenzhofer Weg 36

Heidelberg, 11. März 1975
PT-Sch/mo E-345

Elektrische Maschine
(Zusatz zur Patentanmeldung P 24 17 818.5)

Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine
enthaltend einen mit Permanentmagneten versehenen
Rotor sowie eine auf dem Stator angeordnete mehr-
phasige Wicklung, insbesondere nach Patentanmeldung
P 24 17 818.5.

Problestellung

Die elektrische Maschine gemäß Hauptanmeldung
zeichnet sich vor allem dadurch aus, daß die
Wicklungen auf einem elektrisch nicht leitenden
und zumindest nur geringe Verluste bewirkenden
Statorkörper angeordnet sind. Damit wird auch

609840/0082

⑤

Int. Cl. 2:

H 02 K 3/00

① **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**



DT 25 11 567 A 1

⑪

Offenlegungsschrift 25 11 567

⑫

Aktenzeichen:

P 25 11 567.7

⑬

Anmeldetag:

17. 3. 75

⑭

Offenlegungstag:

30. 9. 76

⑳

Unionspriorität:

⑳ ㉑ ㉒

㉔

Bezeichnung: Elektrische Maschine

㉖

Zusatz zu: P 24 17 818.5

㉗

Anmelder: TELDIX GmbH, 6900 Heidelberg

㉘

Erfinder: Ruff, Gerd, 6900 Heidelberg

㉙

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DT-AS 12 26 194

DT-AS 14 38 264

DT-OS 15 63 094

US 33 75 383

2511567

T E L D I X G m b H

6900 Heidelberg 1
Grenzhöfer Weg 36

Heidelberg, 11. März 1975
PT-Sch/mo E-345

Elektrische Maschine

(Zusatz zur Patentanmeldung P 24 17 818.5)

Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine enthaltend einen mit Permanentmagneten versehenen Rotor sowie eine auf dem Stator angeordnete mehrphasige Wicklung, insbesondere nach Patentanmeldung P 24 17 818.5.

Problemstellung

Die elektrische Maschine gemäß Hauptanmeldung zeichnet sich vor allem dadurch aus, daß die Wicklungen auf einem elektrisch nicht leitenden und zumindest nur geringe Verluste bewirkenden Statorkörper angeordnet sind. Damit wird auch

609840/0082

/ 2

erreicht, daß bei einem nachgiebig angeordneten Rotor im wesentlichen nur in Umfangsrichtung wirksame Kräfte auf den Rotor wirksam werden. Darüberhinaus ist bei einer elektrischen Maschine die Ausbildung der Wicklung vor allem im Hinblick auf eine einfache Serienfertigung von entscheidender Bedeutung. Weiterhin tritt bei Ansteuerung der elektrischen Maschine nach Art eines bürstenlosen Gleichstrommotors das Problem der gleichmäßigen Stromaufteilung in den einzelnen Phasen der Wicklung auf. Werden derartige elektrische Maschinen mit hohen Drehzahlen von beispielsweise über 60.000 Umdrehungen pro Minute betrieben, so können Beschädigungen des Rotors und insbesondere der Permanentmagnete aufgrund der hohen Fliehkraftbeanspruchung bzw. der elastischen Formveränderungen auftreten.

Aufgabe und Lösung

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, die aufgezeigten Probleme zu lösen und eine im Aufbau und in der Herstellung einfache Maschine zu schaffen, die auch bei hohen Drehzahlen sicher betrieben werden kann. Die Aufgabe wird gemäß den Merkmalen des ersten Patentanspruches dadurch gelöst, daß jede Phase der Wicklung wenigstens zwei über den Stator gleichmäßig verteilte Formspulen aufweist, daß die Formspulen im wesentlichen gleich ausgebildet sind und daß an den Kreuzungsstellen der Spulenköpfe jeweils der Kopf der in Umfangsrichtung nachfolgenden Spule und Phase über der vorherigen Spule liegend angeordnet ist.

Vorteile und Weiterbildungen

Die erfindungsgemäße Maschine zeichnet sich aus durch einen äußerst einfachen Aufbau, wobei eine in jeder Beziehung symmetrische Ausbildung der Wicklung auch bei Serienfertigung gegeben ist. Dies erweist sich insbesondere bei Ansteuerung der Maschine als bürstenloser Gleichstrommotor von besonderer Bedeutung, da somit die bei unterschiedlichen Impedanzen der Phasen auftretende unsymmetrische Stromaufteilung auf die einzelnen Phasen vermieden wird. Die Phasen bzw. die Formspulen werden bevorzugt aus einem ununterbrochenen Leiter, beispielsweise mittels Schablonen, vorgefertigt, so daß sämtliche Phasen exakt den gleichen Aufbau aufweisen. Die Aufbringung der derart vorgefertigten Phasen bzw. Formspulen auf den Stator erfolgt in der Weise, daß zunächst eine Spule der ersten Phase und anschließend um einen Winkel, welcher in bekannter Weise durch die Polpaarzahl des Rotors sowie die Phasenzahl bestimmt ist, die Spule der nächsten Phase auf den Stator gelegt wird. Erst wenn von jeder Phase eine Spule auf dem Stator angeordnet ist, wird die zweite Spule der ersten Phase aufgelegt und entsprechend dann die übrigen Spulen. Damit wird in sehr einfacher und ohne Schwierigkeiten durchzuführender Weise erreicht, daß die Wicklung einen symmetrischen Aufbau aufweist. Als Leiter der Phasen werden vorzugsweise mehrere, miteinander verdrehte und einzeln isolierte Drähte verwendet (sogenannte HF-Litze), insbesondere zwecks Vermeidung von Wirbelströmen oder Ausgleichströmen innerhalb der Phasen bzw. Leiter. Falls der Stator auf seiner Außenfläche Nuten aufweist, ist das Auf-

609840/0082

/ 4

bringen der Formspulen besonders einfach. Die Nuten bzw. die dazwischen stehenden Stege dienen nicht - wie bei den bekannten Maschinen - zur Führung magnetischer Felder, sondern zur Arretierung bzw. Ausrichtung der Formspulen. Die Formspulen werden bevorzugt mittels eines Klebemittels oder Gußharzes anschließend auf dem Stator vergossen. Andererseits können die Formspulen unter Zuhilfenahme von Schablonen auch derart vorgefertigt sein, daß die Spulenseiten einen etwa keilförmigen Querschnitt aufweisen, wobei die auf dem Stator angeordneten Spulen mit ihren Spulenseiten dicht und spielfrei aneinander liegen. Wird die Maschine in bekannter Weise als bürstenloser Gleichstrommotor mit induktiver Kommutierung betrieben, so ist es sehr vorteilhaft, aus den Phasen zumindest einen einzelnen isolierten Draht getrennt aus der Wicklung herauszuführen und mit der Kommutierungselektronik zu verbinden. Die in diesem Draht durch den Rotor induzierte Spannung ist ein Maß für die jeweilige Rotorstellung, so daß separate Sensoren für die Rotorstellung entfallen. Es sei darauf hingewiesen, daß die erfindungsgemäße Maschine in hervorragender Weise für hohe Drehzahlen geeignet ist und sich vor allem durch den symmetrischen Wicklungsaufbau und die Verwendung von HF-Litze mit einem sehr guten Wirkungsgrad auszeichnet. Wird der Stator in dem Bereich, in welchem das Rotormagnetfeld wirksam ist, aus elektrisch nichtleitendem Material hergestellt, so werden die bekannten Eisen- oder Wirbelstromverluste weitgehend vermieden. Als weiterer, sehr wesentlicher Vorteil ergibt sich, daß bei radialen

Bewegungen des Rotors beispielsweise bei elastischer Lagerung des Rotors praktisch keine radial gerichteten Kräfte aufgrund elektrodynamischer Vorgänge im Stator auftreten, so daß auch hierbei die Maschine einen sehr guten Wirkungsgrad aufweist. Schnelldrehende Rotoren werden bekanntlich durch die Fliehkraft stark beansprucht, so daß elastische Formveränderungen (Aufweitungen) auftreten. Bei Verwendung hochwertiger Magnetwerkstoffe, wie z.B. Samarium-Kobalt oder Bariumferrit für die Permanentmagnete könne diese aufgrund ihrer spröden Struktur (gesintert) zerstört oder die Verbindung vom Rotor gelöst werden. Diese Schwierigkeiten werden in vorteilhafter Weise dadurch vermieden, daß für jeden Rotorpol mehrere, in Drehrichtung nebeneinander liegende Magnete mit gleicher Polarität verwendet werden. Darüberhinaus erweist es sich als sehr vorteilhaft, die Magnete auf der Rotoroberfläche in axial verlaufenden Nuten anzuordnen und festzukleben. Die Nuten werden bevorzugt mit tangentialen Bodenflächen ausgebildet, so daß eine besondere Bearbeitung der Magnetrückseiten entsprechend der Krümmung der Rotoroberfläche nicht nötig ist. Die Verwendung mehrerer Einzelmagnete ist auch in Hinblick auf einen kleinen Luftspalt von Bedeutung. Würde beispielsweise bei einer vierpoligen Maschine nur ein einzelner, sich etwa über 90° über den Umfang erstreckender Permanentmagnet vorgesehen, so müßte dessen Oberfläche eine entsprechende Krümmung aufweisen. Bei Verwendung von mehreren Permanentmagneten pro Pol können deren Oberflächen sogar eben sein; eine entsprechende Oberflächenbearbeitung entfällt also. Weiterhin hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die Zwischenräume zwischen den Permanentmagneten beispielsweise mittels eines Gieß-

harzes auszufüllen, zwecks Vermeidung von Luftwirbeln, die insbesondere bei hohen Drehzahlen Reibungsverluste zur Folge haben.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in der Zeichnung dargestellten und bevorzugten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 - eine prinzipielle und explosionsartig ausgeführte Darstellung einer elektrischen Maschine mit einer dreiphasigen Wicklung,
- Fig. 2 - einen Ausschnitt des Rotors,
- Fig. 3 - die vorgefertigten Formspulen einer Phase vor dem Einbau in die Maschine,
- Fig. 4 - einen Ausschnitt eines Stators mit aufgelegten Formspulen, wobei die Spulenseiten einen keilförmigen Querschnitt aufweisen.

Die elektrische Maschine gemäß Fig. 1 enthält einen hohlzylindrischen Stator und einen den Stator unter Bildung eines Luftspaltes umgebenden, hohlzylindrischen Rotor 32, welcher mittels geeigneter Lager (nicht dargestellt) um die Drehachse 33 drehbar angeordnet ist. Auf der Außenfläche des Stators sind in axialer Richtung verlaufende Nuten 34 über den Umfang gleichmäßig verteilt angeordnet. In den genannten Nuten befinden sich Formspulen 35 bis 38 einer dreiphasigen Wicklung. Dabei sind der Einfachheit halber nur einige Formspulen dargestellt. Die Anzahl der Nuten bzw.

Formspulen ergibt sich in bekannter Weise aus der Polzahl des Rotors (hier acht) sowie der Phasenzahl der Wicklung (hier drei). Sämtliche Formspulen weisen den gleichen Aufbau auf, wobei die zu einer Phase gehörenden Formspulen zusammenhängend aus einem Leiter 44 hergestellt sind, so daß keine Verbindungsstellen oder Lötstellen zwischen den Formspulen vorhanden sind. Die zwischen den Formspulen vorhandenen Leiterteile 45 sind jeweils gleich groß. Die Leiter bestehen aus mehreren, miteinander verdrehten und einzeln isolierten Drähten 46. Die Phasen und Formspulen werden - wie in Fig. 3 schematisch dargestellt ist - vor dem Einlegen auf den Stator vorgefertigt und weisen auch elektrisch (Induktivität, Widerstand, Kapazität) gleiches Verhalten auf. Das Einlegen der Phasen auf den Stator erfolgt in folgender Weise: Zunächst wird die erste Formspule 35 der Phase 1 eingelegt, anschließend um 120° el in Umfangsrichtung versetzt die Formspule 36 der Phase 2 und dann die Formspule 37 der Phase 3. Danach wird die zweite Formspule 38 der Phase 1 und entsprechend die übrigen Formspulen der Wicklung eingelegt. Zum Einlegen der letzten Formspule 43 von Phase 3 muß der vordere Teil von Spule 35 hochgeschoben werden, damit der Spulenkopf von Spule 35 über dem Spulenkopf von Spule 43 zu liegen kommt. Auf diese Weise wird erreicht, daß an sämtlichen Kreuzungsstellen der Spulenköpfe jeweils der Kopf der in Umfangsrichtung nachfolgenden Spule und Phase radial außen, d. h. über der vorherigen Spule angeordnet ist. Damit wird eine in jeder Hinsicht symmetrische Wicklung erreicht.

Es sei darauf hingewiesen, daß die Nuten lediglich zum einfachen und gleichmäßigen Auflegen der Formspulen vorgesehen sind und nicht zur Führung von Magnetfeldern dienen. Der hohlzylindrische Stator 31 besteht aus einem elektrisch nicht leitenden Material, in welchem zumindest näherungsweise keine Hysterese- oder Wirbelstromverluste durch die vorbeidrehenden Rotormagnete erzeugt werden. Darüberhinaus ist das genannte Material nicht magnetisierbar, so daß auch bei radialen Bewegungen des Rotors, falls dieser nachgiebig bezüglich des Stators gelagert ist, keine entgegenwirkenden, radial gerichteten Kräfte auf den Rotor wirksam werden. Dies ist im Hinblick auf den Wirkungsgrad der Maschine von ganz entscheidender Bedeutung. Wie in Fig. 4 dargestellt, können die Formspulen auch auf die zylindrische Außenfläche 48 des Stators 31 aufgelegt werden. Die sich in axialer Richtung erstreckenden Spulenseiten 49 weisen einen keilförmigen Querschnitt derart auf, daß die Berührungsflächen 50 benachbarter Formspulen in Axialebenen laufen und die Spulenseiten somit im wesentlichen spielfrei aneinander gereiht sind. Die genannte Formgebung wird durch Herstellung der Formspulen mittels entsprechend ausgebildeter Schablonen erreicht. Durch die Einsparung der Nuten bzw. der dazwischen liegenden Stege ergibt sich eine sehr gute Ausnützung der Wicklung.

Wird die Maschine nach Art eines bürstenlosen Gleichstrommotors betrieben, so wird eine Kommutierungselektronik 52 bekannter Bauart vorgesehen, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, da diese nicht Gegenstand der Erfindung ist. Zwecks Kommutierung der durch die Phasen der Wicklung fließenden Ströme werden Signale entsprechend der jeweiligen Rotorstellung

benötigt. Es ist bekannt, hierzu induktiv arbeitende Sensoren vorzusehen. Bei Verwendung von elektrischen Leitern mit mehreren einzelnen Drähten für die Wicklung geschieht das in vorteilhafter Weise derart, daß wenigstens ein einzelner Draht 53 jeder Phase getrennt aus der Wicklung herausgeführt wird. Durch den drehenden Rotor werden in den genannten Drähten elektrische Spannungen induziert, deren Größe und Phasenlage ein Maß für die jeweilige Rotorstellung darstellen. Auf separate Sensoren, die den Aufbau des Stators und dessen Herstellung verteuern, kann somit verzichtet werden. Die übrigen Drähte der Wicklung sind ebenfalls mit der Kommutierungselektronik verbunden und werden in bekannter Weise durch phasenverschobene Ströme durchflossen, um den Rotor in Drehung zu versetzen. Durch die Verwendung verdrehter Einzeldrähte wird in vorteilhafter Weise bewirkt, daß innerhalb der Phasen keine Ausgleichsströme auftreten können.

Der Rotor 32 enthält auf seiner Innenseite eine Anzahl von im wesentlichen radial magnetisierten Permanentmagneten 55 bis 60, welche bevorzugt aus gesintertem Samarium-Kobalt oder Bariumferrit hergestellt sind. Wird die Maschine mit hohen Drehzahlen betrieben, so können aufgrund von Fliehkräften Ausweitungen und Formveränderungen des Rotors, welcher gleichzeitig zum magnetischen Rückschluß dient, auftreten. Aufgrund der geringen Festigkeit der genannten Magnete besteht die Gefahr der Zerstörung bzw. des Ablösens der Magnete vom Rotor. In einer bevorzugten Ausbildung werden daher für jeden Rotorpol mehrere in Umfangsrichtung nebeneinander liegende Permanentmagnete gleicher

Polarität vorgesehen, so daß die genannten Formveränderungen bei den vergleichsweise kleinen Magneten nur eine geringe Auswirkung haben. Wie dem dargestellten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 und Fig. 2 entnommen werden kann, sind für die Nordpole drei Permanentmagnete 55 bis 57 und für die Südpole drei Permanentmagnete 58 bis 60 vorgesehen. Die einzelnen Magnete sind in axial verlaufenden Nuten 61 geringer Tiefe angeordnet, deren Bodenflächen 62 im wesentlichen tangential verlaufen. Die Permanentmagnete sind stabförmig ausgebildet, weisen einen rechteckförmigen Querschnitt auf und sind mit ihren ebenen Rückflächen 64 in den Nuten mittels Klebemittel befestigt. Die Nuten 61 sind durch Ausstechen der Rotorinnenfläche hergestellt und erleichtern die exakte Ausrichtung der Permanentmagnete bei der Herstellung. Durch die Verwendung mehrerer Einzelmagnete mit entsprechend kleiner Oberfläche kann auf eine der Krümmung der Rotorfläche entsprechende Bearbeitung der Magnetoberflächen verzichtet werden. Die Außenflächen der Permanentmagnete (außer den Rückseiten 64), weisen eine dünne Deckschicht 67 aus Kupfer auf, welche beispielsweise galvanisch aufgetragen ist, als Korrosionsschutz und zur Erhöhung der Festigkeit. Weiterhin sind die Zwischenräume zwischen den Permanentmagneten mit Füllmaterial 68 ausgefüllt, welches vorzugsweise durch Ausgießen mit einem Gießharz eingebracht wird. Auf diese Weise können insbesondere bei hohen Drehzahlen Luftwirbel und die daraus resultierenden Luftreibungsverluste weitgehend vermieden werden.

In den gezeigten Ausführungsbeispielen ist die

M

E-345

elektrische Maschine als Außenläufer-Maschine ausgebildet. Die Erfindung ist jedoch keineswegs beschränkt auf derartige Ausführungsformen, sondern sie betrifft auch Innenläufer-Maschinen oder auch Maschinen in Scheibenbauweise (Magnete und Wicklung liegen in Radialebenen).

- Patentansprüche -

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Elektrische Maschine enthaltend einen mit Permanentmagneten versehenen Rotor sowie eine auf dem Stator angeordnete mehrphasige Wicklung, insbesondere nach Patentanmeldung P 24 17 818.5, dadurch gekennzeichnet, daß jede Phase der Wicklung wenigstens zwei über den Stator gleichmäßig verteilte Formspulen aufweist, daß die Formspulen im wesentlichen gleich ausgebildet sind und daß an den Kreuzungsstellen der Spulenköpfe jeweils der Kopf der in Umfangsrichtung nachfolgenden Spule und Phase über der vorherigen Spule liegend angeordnet ist.
2. Elektrische Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sämtliche Formspulen einer Phase aus einem ununterbrochenen Leiter hergestellt sind und daß die zwischen den Formspulen liegenden Leitereile im wesentlichen gleich groß sind.
3. Elektrische Maschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiter aus mehreren, miteinander verdrehten und einzeln isolierten Drähten hergestellt sind.
4. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Stator zumindest in dem Teil, in welchem das Rotormagnetfeld eindringt, aus einem Material besteht, welches zumindest näherungsweise elektrisch nicht-leitend ist und/oder in welchem Wirbelstrom- oder Hystereseverluste weitgehend vermieden werden und/oder welches zumindest näherungsweise nicht magnetisierbar ist.

B

E-345

~~113~~

5. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Stator an seiner Außenfläche zur Drehachse im wesentlichen parallel verlaufende Nuten aufweist, in welchem die Formspulen angeordnet sind.
6. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die vorzugsweise mittels Schablonen vorgefertigten Formspulen bzw. deren Spulenseiten einen etwa keilförmigen Querschnitt aufweisen, wobei die im wesentlichen dicht aneinander liegenden Berührungsflächen der Spulenseiten in Axialebenen liegen.
7. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei die Maschine nach Art eines bürstenlosen Gleichstrommotors mit induktiver Kommutierung betrieben wird, dadurch gekennzeichnet, daß vorzugsweise ein Draht einer Phase mit einer Kommutierungselektronik verbunden ist, um dieser ein der Rotorstellung entsprechendes Signal zuzuführen.
8. Elektrische Maschine, insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor pro Magnetpol wenigstens zwei in Drehrichtung nebeneinander liegende Permanentmagnete gleicher Magnetisierungsrichtung aufweist.
9. Elektrische Maschine nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Permanentmagnete in Nuten von geringer Tiefe eines vorzugsweise aus hochfestem Stahl gefertigten Rückschlußringes angeordnet sind.
10. Elektrische Maschine nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Außenflächen der Permanentmagnete mit einer dünnen Deckschicht versehen sind.

609840/0082

11. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenräume zwischen benachbarten Permanentmagneten mit Füllmaterial ausgefüllt sind, wobei vorzugsweise ein an sich bekanntes Gießharz vorgesehen ist.
12. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Bodenflächen der genannten Nuten im wesentlichen als ebene Flächen ausgebildet sind und stabförmige Permanentmagnete, welche einen im wesentlichen rechteckigen Querschnitt aufweisen, mit ihren ebenen Rückflächen, an den genannten Bodenflächen vorzugsweise mittels Klebematerial befestigt sind.

Heidelberg, 11. März 1975
PT-Sch/mo E-345

Leerseite